Name: ________________________

Formelsammlung

für die Funkamateurprüfung

Widerstand

Serieschaltung $R_{ges} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$ $R_{ges} = \sum_{i=1}^{n} R_i$

Parallelschaltung $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$ $R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ $\frac{1}{R_{ges}} = \sum \frac{1}{R_i}$

Kondensator

Serieschaltung: $\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$ $C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ $\frac{1}{C_{ges}} = \sum \frac{1}{C_i}$

$X_{Cges} = X_{C1} + X_{C2} + \ldots + X_{Cn}$ $X_{Cges} = \sum X_{Ci}$

Parallelschaltung $C_{ges} = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$ $C_{ges} = \sum C_i$

$\frac{1}{X_{Cges}} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \ldots + \frac{1}{X_{Cn}}$ $X_{Cges} = \frac{X_{C1} \cdot X_{C2}}{X_{C1} + X_{C2}}$ $\frac{1}{X_{Cges}} = \sum \frac{1}{X_{Ci}}$

Spule

Serieschaltung $L_{ges} = L_1 + L_2 + \ldots + L_n$ $L_{ges} = \sum L_i$

$X_{Lges} = X_{L1} + X_{L2} + \ldots + X_{Ln}$ $X_{Lges} = \sum X_{Li}$

Parallelschaltung $\frac{1}{L_{ges}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots + \frac{1}{L_n}$ $L_{ges} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$ $\frac{1}{L_{ges}} = \sum \frac{1}{L_i}$

$\frac{1}{X_{Lges}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \ldots + \frac{1}{X_{Ln}}$ $X_{Lges} = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}}$ $\frac{1}{X_{Lges}} = \sum \frac{1}{X_{Li}}$

URI

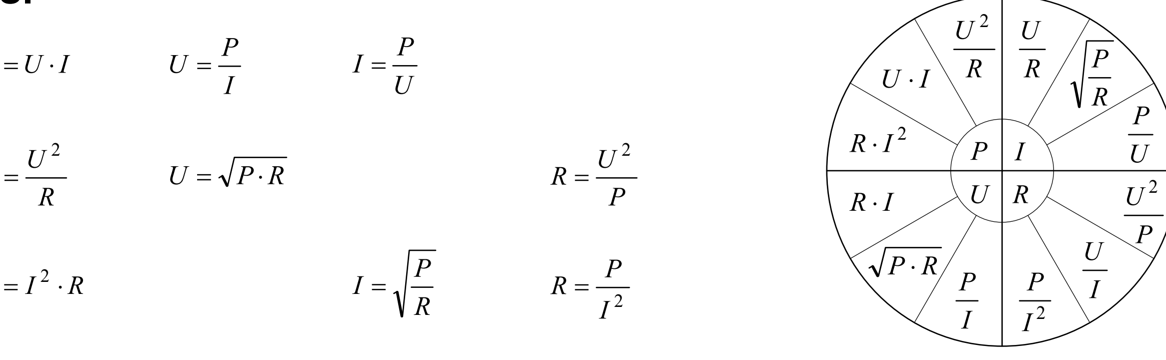
$U = R \cdot I$ $I = \frac{U}{R}$ $R = \frac{U}{I}$ $\frac{U}{R \cdot I}$ $\frac{P}{U \cdot I}$

PUI

$P = U \cdot I$ $U = \frac{P}{I}$ $I = \frac{P}{U}$

$P = \frac{U^2}{R}$ $U = \sqrt{P \cdot R}$ $R = \frac{U^2}{P}$

$P = I^2 \cdot R$ $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$ $R = \frac{P}{I^2}$



U	*Spannung*	*V*	*C*	*Kapazität*	*F*			
R	*Widerstand*	*Ω*	*L*	*Induktivität*	*H*	X_C	*Kapazitiver Blindwiderstand*	*Ω*
I	*Strom*	*A*	*P*	*Leistung*	*W*	X_L	*Induktiver Blindwiderstand*	*Ω*

Widerstand in Drähten

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \qquad \Delta R = \alpha \cdot \Delta T \cdot R_{20}$$

$$R = R_{20} + \Delta R = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{20} = \frac{R}{1 + \alpha \cdot \Delta T}$$

$$G = \frac{1}{R}$$

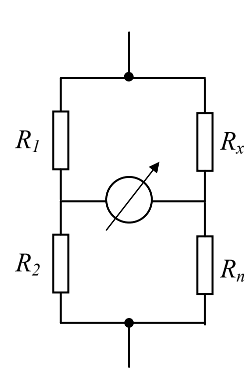
R	*Widerstand (bei Temperatur T)*	Ω
R_{20}	*Widerstand bei 20 °C*	Ω
ΔR	*Widerstandsänderung zu 20 °C*	Ω
ΔT	*Temperaturdifferenz zu 20 °C*	*K* oder °C
ρ	*spezifischer Widerstand*	$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
	$\rho_{Kupfer} = 0.0178$	
α	*Temperaturkoeffizient*	K^{-1}
l	*Leiterlänge*	*m*
A	*Leiterquerschnitt*	mm^2
G	*Leitwert*	*S*

Kirchhoffsche Gesetze

1. Kirchhoffsches Gesetz – Knotenregel
Die Summe aller Ströme an einem Knoten ist Null: $I_1 + I_2 + I_3 + \ldots + I_n = 0$

2. Kirchhoffsches Gesetz – Maschenregel
Die Summe aller Spannungen in einer Masche ist Null: $U_1 + U_2 + U_3 + \ldots + U_n = 0$

Messbrücke



$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_n}$$

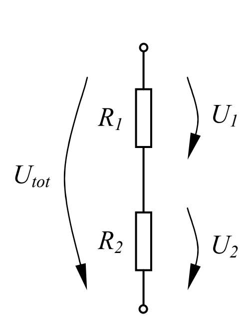
$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_n$$

$$R_n = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_x$$

(Wheatstone-Brücke)

R_x	*unbekannter Widerstand*	Ω
R_n	*Vergleichswiderstand*	Ω
R_1, R_2	*bekannte Widerstände*	Ω

Spannungsteiler



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{R_1}{R_2} = U_{tot} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = U_{tot} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_{tot} = U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = U_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

U	*Spannung*	*V*
R	*Widerstand*	Ω
I	*Strom*	*A*

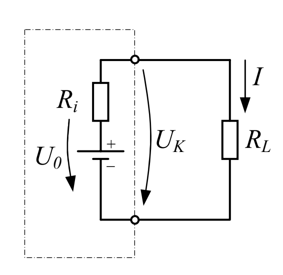
$$U_{tot} = U_1 + U_2$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_2} - 1\right) = R_2 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_1} - 1\right)^{-1}$$

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_{tot}}{R_1 + R_2}$$

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_1} - 1\right) = R_1 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_2} - 1\right)^{-1}$$

Innenwiderstand



$$U_K = U_0 - I \cdot R_i = U_0 \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

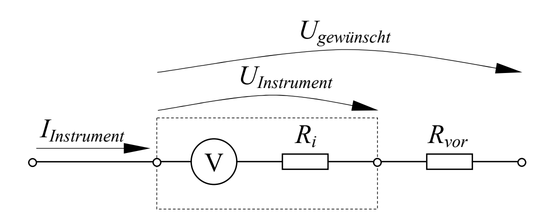
$$I = \frac{U_0}{R_i + R_L} \qquad I_k = \frac{U_0}{R_i}$$

$$R_i = \frac{U_0 - U_K}{I} = \frac{U_0}{I} - R_L = \frac{U_0}{I_k}$$

U_0	*Elektromotorische Kraft U_{EMK} auch Quellenspannung (Leerlaufspannung)*	*V*
U_K	*Klemmenspannung*	*V*
I	*Strom*	*A*
I_k	*Kurzschlussstrom*	*A*
R_i	*Innenwiderstand*	*Ω*
R_L	*Lastwiderstand*	*Ω*

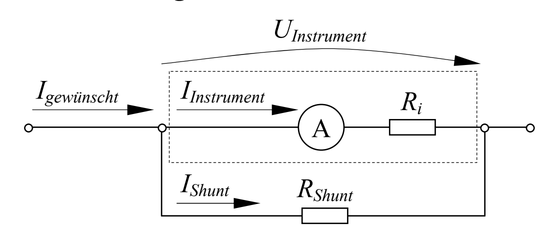
Messbereichserweiterung

Spannungsmessung



$$R_{vor} = R_i \cdot \left(\frac{U_{gewünscht}}{U_{Instrument}} - 1 \right) = \frac{U_{gewünscht} - U_{Instrument}}{I_{Instrument}}$$

Strommessung



$$R_{Shunt} = R_i \cdot \frac{I_{Instrument}}{I_{gewünscht} - I_{Instrument}} = \frac{U_{Instrument}}{I_{gewünscht} - I_{Instrument}}$$

$$R_i = \frac{U_{Instrument}}{I_{Instrument}}$$

R_{Shunt} *: Nebenwiderstand Ω*

Transformator

$$ü = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

$$ü = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

$$P_1 = P_2 \qquad \Theta_1 = \Theta_2$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{ab}}{P_{ab} + P_V}$$

$$P_{ab} = P_{zu} - P_V$$

1	*Eingangsseite / primär*	–
2	*Ausgangsseite / sekundär*	–
ü	*Übersetzungsverhältnis*	–
N	*Windungszahl*	–
U	*Spannung*	*V*
I	*Strom*	*A*
R	*Widerstand*	*Ω*
Z	*Impedanz*	*Ω*
C	*Kapazität*	*F*
L	*Induktivität*	*H*
P	*Wirkleistung*	*W*
Θ	*Durchflutung*	*A*
η	*Wirkungsgrad*	–
P_{zu}	*zugeführte Leistung*	*W*
P_{ab}	*abgegebene Leistung*	*W*
P_V	*Verlustleistung*	*W*

Leistungsanpassung

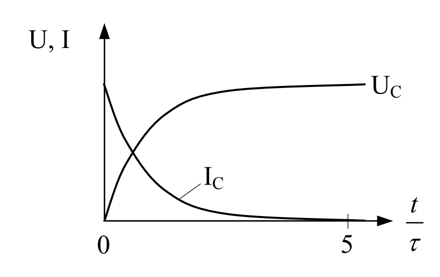
$$R_i = R_{Last} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \qquad U_k = \frac{U_0}{2} \qquad I = \frac{I_k}{2}$$

$$P_{\max} = \frac{U_0^{\,2}}{4 \cdot R_i} \qquad P_{Last} = \frac{U_0^{\,2} \cdot R_{Last}}{(R_i + R_{Last})^2} = P_{\max}$$

R_i	*Innenwiderstand*	Ω
R_{Last}	*Lastwiderstand*	Ω
U_k	*Klemmenspannung*	V
U_0	*Leerlaufspannung*	V
I	*Laststrom*	A
I_k	*Kurzschlussstrom*	A
P_{Last}	*abgegebene Leistung*	W
P_{max}	*maximale Leistung*	W
U_1	*Spannung im Lastfall* 1	V
U_2	*Spannung im Lastfall* 2	V
I_1	*Stromstärke im Lastfall* 1	A
I_2	*Stromstärke im Lastfall* 2	A
U_0	*Spannung Spannungsquelle*	V

Kondensator

Aufladung

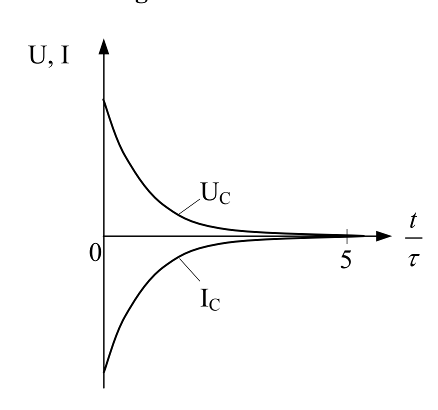


$$\tau = R \cdot C$$

$$U_C = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$$

$$I_C = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \qquad I_0 = \frac{U_0}{R} \text{ am Zeitpunkt 0}$$

Entladung



$$\tau = R \cdot C$$

$$U_C = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

U_0 *Anfangsspannung Kond.* V

$$I_C = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \qquad I_0 = -\frac{U}{R} \text{ am Zeitpunkt 0}$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{F}{Q}$$

$$Q = C \cdot U = I \cdot t \quad \rightarrow \quad I = C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

$$C = \frac{I \cdot t}{U} = \frac{Q}{U} \qquad C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d}$$

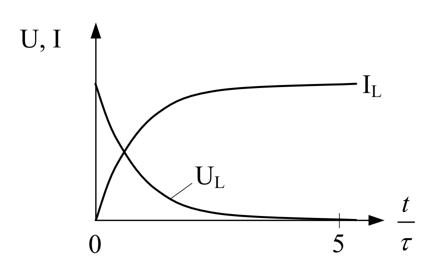
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

τ	*Zeitkonstante*	s
R	*Widerstand*	Ω
C	*Kapazität*	F
U_C	*Spannung am Kondensator*	V
t	*Ladezeit*	s
I_C	*Strom (Laden bzw. Entladen)*	A
E	*Elektrische Feldstärke*	$\frac{V}{m}$
d	*Plattenabstand*	m
F	*Kraft auf Ladung*	N
Q	*Ladung*	C
A	*Plattenoberfläche*	m^2
ε_0	*physikalische Dielektrizitätskonstante* $= 8.854187871 \cdot 10^{-12} \; \frac{As}{Vm} = \frac{F}{m}$	
ε_r	*Material-Dielektrizitätskonstante* *Luft* = 1	

Spule und magnetisches Feld

L	*Induktivität*	*H*
τ	*Zeitkonstante*	*s*
R	*Widerstand*	*Ω*
U_L	*Augenblickswert Spulenspannung*	*V*
U_0	*Anfangsspannung Spule*	*V*
I_L	*Augenblickswert Spulenstrom*	*A*
I_0	*Anfangsstrom Spule*	*V*
t	*Zeit*	*s*

Aufladung



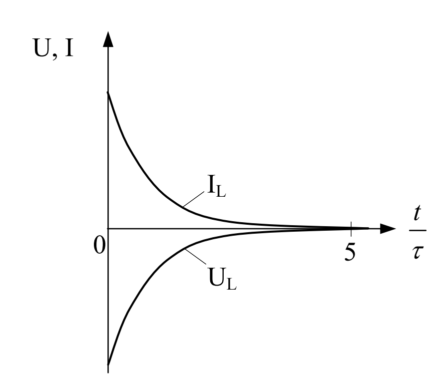
$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$U_L = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot R}{L}}$$

$$I_L = I_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = I_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot R}{L}}\right)$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \text{ am Zeitpunkt 0}$$

Entladung



$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$U_L = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot R}{L}}$$

$$I_L = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot R}{L}}$$

$$I_0 = \frac{U}{R} \text{ am Zeitpunkt 0}$$

$$L = \frac{N^2}{R_M} = U \cdot \frac{\Delta t}{\Delta I} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A \cdot N^2}{l} = \frac{\Phi \cdot N}{I}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \qquad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$Q = \frac{X_L}{R_V} = \frac{\omega \cdot L}{R_V} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R_V}$$

$$U_i = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = N \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$U_{Si} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{N^2}{R_M} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\Phi = B \cdot A$$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$



$$H = \frac{\Theta}{l}$$

$$\Theta = I \cdot N$$

$$R_M = \frac{\Theta}{\Phi} = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} \qquad \Lambda_M = \frac{1}{R_M}$$

L	*Induktivität*	$H = \frac{Vs}{A}$
N	*Windungszahl*	–
A	*Spulenquerschnitt*	m^2
l	*Spulenlänge (Feldlinienlänge)*	*m*
μ_0	*magnetische Feldkonstante* $= 4\pi \cdot 10^{-7} \approx 1.257 \cdot 10^{-6}$	$\frac{Vs}{Am}$
μ_r	*Permeabilität (Material)*	–
Φ	*magnetischer Fluss*	*Wb*
Q	*Güte*	–
X_L	*induktiver Blindwiderstand*	*Ω*
R_V	*Verlustwiderstand*	*Ω*
R_M	*magnetischer Widerstand*	$\frac{A}{Vs}$
R_V	*Verlustwiderstand*	*Ω*
U_i	*induzierte Spannung*	*V*
U_{Si}	*Selbstinduktionsspannung*	*V*
B	*magn. Flussdichte, Induktion*	*T*
Θ	*Durchflutung*	*A*
H	*magn. Feldstärke*	$\frac{A}{m}$
Λ_M	*magnetischer Leitwert*	*H*
B_R	*Remanenzflussdichte*	*T*
H_C	*Koerzitivfeldstärke*	*A/m*

Impedanz und Blindwiderstand

Sinusschwingung: $U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}}$ $\quad U_S = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$ $\quad U_{SS} = 2 \cdot U_S = 2\sqrt{2} \cdot U_{eff}$

allgemein: $U_{eff} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U^2(t)dt$

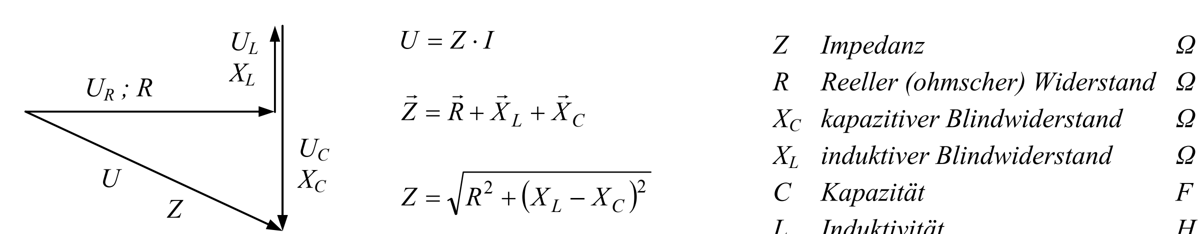
U_{eff}	*Effektivspannung (auch U_{RMS})*	*V*
U_S	*Spitzenspannung (auch Û)*	*V*
U_{SS}	*Spitzen-Spitzenspannung*	*V*

Kapazitiver Blindwiderstand: $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$

$X_C = \frac{U_C}{I_C}$ $\quad \frac{U_C}{I_C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$ $\quad I_C = \frac{U_C}{X_C}$ $\quad U_C = X_C \cdot I_C$

Induktiver Blindwiderstand: $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

$X_L = \frac{U_L}{I_L}$ $\quad \frac{U_L}{I_L} = \omega \cdot L$ $\quad I_L = \frac{U_L}{X_L}$ $\quad U_L = X_L \cdot I_L$



$U = Z \cdot I$

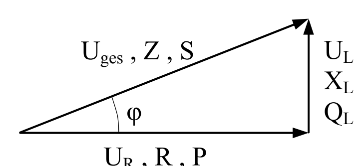
$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L + \vec{X}_C$

$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

Z	*Impedanz*	*Ω*
R	*Reeller (ohmscher) Widerstand*	*Ω*
X_C	*kapazitiver Blindwiderstand*	*Ω*
X_L	*induktiver Blindwiderstand*	*Ω*
C	*Kapazität*	*F*
L	*Induktivität*	*H*
ω	*Kreisfrequenz*	s^{-1}

Merksatz: Bei Induktivitäten die Ströme sich verspäten.

Leistung im Wechselstromkreis



$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U_{ges}}$

U	*Spannung*	*V*
I	*Strom*	*A*
P	*Wirkleistung*	*W*
S	*Scheinleistung*	*VA*
Q_L	*induktive Blindleistung*	*var*
cosφ	*Leistungsfaktor*	–

Schwingung

Resonanzbedingung: $X_C = X_L$

$$\frac{1}{\omega \cdot C} = \omega \cdot L$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

→ Thomsonsche Schwingkreisformel

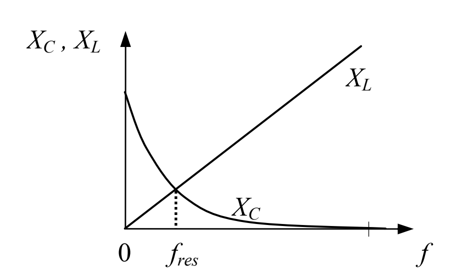
X_L	*induktiver Blindwiderstand*	*Ω*
X_C	*kapazitiver Blindwiderstand*	*Ω*
ω	*Kreisfrequenz*	s^{-1}
L	*Induktivität*	*H*
C	*Kapazität*	*F*
f_{res}	*Resonanzfrequenz*	*Hz*

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \qquad f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L}$$

$$X_C = X_L = \sqrt{\frac{L}{C}}$$



Schwingkreise

Allgemein

$$b = \frac{f_{res}}{Q} = \frac{R_V}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

$$b = f_o - f_u$$

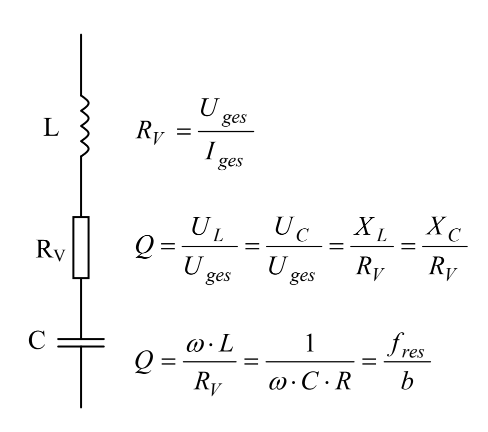
$$f_{res} = \frac{f_o + f_u}{2}$$

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{f_{res}}{b} = \frac{f_o + f_u}{2 \cdot (f_o - f_u)}$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

b	*Bandbreite (-3 dB Punkt)*	*Hz*
f_o	*obere Grenzfrequenz*	*Hz*
f_u	*untere Grenzfrequenz*	*Hz*
f_{res}	*Resonanzfrequenz*	*Hz*
d	*Dämpfungsfaktor*	–
T	*Schwingungsdauer (Resonanz)*	*s*
Q	*Güte*	–
L	*Induktivität*	*H*
C	*Kapazität*	*F*

Reihen- / Serieschwingkreis

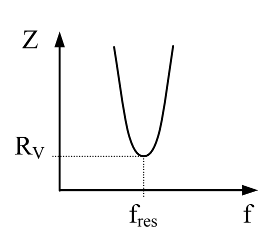


$$R_V = \frac{U_{ges}}{I_{ges}}$$

$$Q = \frac{U_L}{U_{ges}} = \frac{U_C}{U_{ges}} = \frac{X_L}{R_V} = \frac{X_C}{R_V}$$

$$Q = \frac{\omega \cdot L}{R_V} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R} = \frac{f_{res}}{b}$$

Z_0	*Resonanzwiderstand*	*Ω*
R_V	*Serie-Verlustwiderstand*	*Ω*
Q	*Güte*	*–*
X	*Blindwiderstand*	*Ω*
f_{res}	*Resonanzfrequenz*	*Hz*
b	*Bandbreite*	*Hz*



Serie-Schwingkreiswiderstand

Resonanz: $Z_S = R_V \qquad \varphi = 0$

Betrag: $$|Z_S| = \sqrt{R_V{}^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

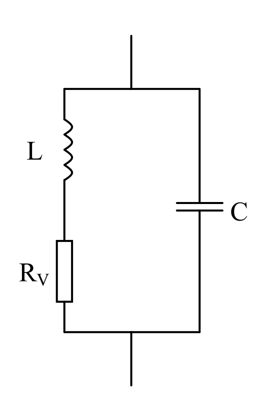
Phase: $$\tan \varphi = \frac{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R_V}$$

Z_S	*Serie-Resonanzwiderstand*	*Ω*
R_V	*Serie-Verlustwiderstand*	*Ω*
φ	*Phasenwinkel*	*rad*
U_C	*Spannung über Kondensator*	*V*
U_L	*Spannung über Induktivität*	*V*
U_{ges}	*Spannung über Serieschwingkreis*	
I_{ges}	*Spannung durch Serieschwingkreis*	

Teilspannungen: $$U_C = X_C \cdot \frac{U_{ges}}{\sqrt{R_V{}^2 + (X_L - X_C)^2}} = X_C \cdot \frac{U_{ges}}{|Z_S|} = X_C \cdot I_{ges}$$

$$U_L = X_L \cdot \frac{U_{ges}}{\sqrt{R_V{}^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Parallelschwingkreis



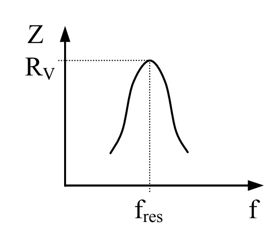
$$Z_0 = \frac{L}{C \cdot R_V} = \frac{U_{ges}}{I_{ges}} = R_p$$

$$Z_0 = \frac{(\omega \cdot L)^2}{R_V} = Q \cdot X_L$$

$$Q = \frac{I_L}{I_{ges}} = \frac{I_C}{I_{ges}} = \frac{Z_0}{X_L} = \frac{Z_0}{X_C}$$

$$Q = \omega \cdot C \cdot Z_0 = \frac{Z_0}{\omega \cdot L} = \frac{f_{res}}{b}$$

Z_0	*Resonanzwiderstand*	*Ω*
R_p	*Parallelwiderstand*	*Ω*
R_V	*Serie-Verlustwiderstand*	*Ω*



Parallel-Schwingkreiswiderstand

Betrag: $$\frac{1}{|Z_p|} = \sqrt{\frac{1}{{R_p}^2} + \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C\right)^2}$$

Phase: $$\tan\varphi = \frac{\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C}{\frac{1}{R_p}}$$

Resonanz: $Z_p = R_p$ $\qquad \varphi = 0$

$$R_p \cdot R_V = \frac{L}{C}$$

Shape-Faktor: $$F = \frac{B_{-60dB}}{B_{-6dB}}$$

Z_p	*Parallel-Resonanzwiderstand*	*Ω*
R_p	*Parallelwiderstand*	*Ω*
R_V	*Serie-Verlustwiderstand*	*Ω*
ω	*Kreisfrequenz*	s^{-1}
L	*Induktivität*	*H*
C	*Kapazität*	*F*
φ	*Phasenwinkel*	*rad*
F	*Shape-Faktor (Formfaktor)*	*–*
b_{60dB}	*Bandbreite bei –60 dB*	*Hz*
b_{6dB}	*Bandbreite bei –6 dB*	*Hz*

Oszillator

$$k \cdot v = 1$$

k	*Rückkopplungsfaktor*	*–*
v	*Verstärkungsfaktor*	*–*

Dezibel-Pegel

Pegel	Leistungsverhältnis P_2 / P_1	Spannungsverhältnis U_2 / U_1
40 dB	10000	100
30 dB	1000	31.6
20 dB	100	10
10 dB	10	3.16
6 dB	4	2
3 dB	2	1.41
2.15 dB	1.64	1.28
1.5 dB	1.41	1.19
1 dB	1.26	1.12
0 dB	1	1
-1 dB	0.794	0.891
-1.5 dB	0.708	0.841
-2.15 dB	0.61	0.781
-3 dB	0.5	0.708
-6 dB	0.25	0.5
-10 dB	0.1	0.316
-20 dB	0.01	0.1
-30 dB	0.001	0.0316
-40 dB	0.0001	0.01

Filter

- Kondensator an Gleichspannung → $Z \approx \infty$ (sperrt)
- Kondensator an Hochfrequenz → $Z \approx 0$ (leitet)
- Spule an Gleichspannung → $Z \approx 0$ (leitet)
- Spule an Hochfrequenz → $Z \approx \infty$ (sperrt)

f_{grenz}	*Grenzfrequenz*	s^{-1}
L	*Induktivität*	*H*
C	*Kapazität*	*F*
U_e	*Eingangsspannung*	*V*
U_a	*Ausgangsspannung*	*V*
R	*Widerstand*	*Ω*
X_C	*kapazitiver Blindwiderstand*	*Ω*
X_L	*induktiver Blindwiderstand*	*Ω*

	Tiefpass f_{grenz} = -3 dB	**Hochpass** f_{grenz} = -3 dB
LC	U_e — L — U_a, C gegen Masse $f_{grenz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$	U_e — C — U_a, L gegen Masse $f_{grenz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$
RC	U_e — R — U_a, C gegen Masse $f_{grenz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$ $U_a = U_e \cdot \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$	U_e — C — U_a, R gegen Masse $f_{grenz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$ $U_a = U_e \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$
RL	U_e — L — U_a, R gegen Masse $f_{grenz} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$ $U_a = U_e \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$	U_e — R — U_a, L gegen Masse $f_{grenz} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$ $U_a = U_e \cdot \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$

Transistor

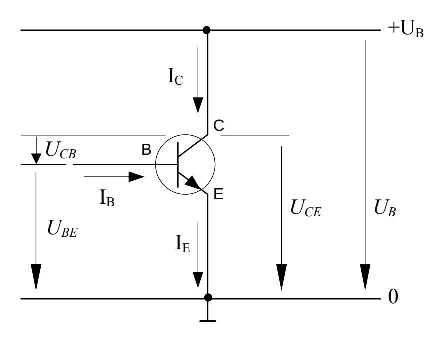
$$I_C = B \cdot I_B \qquad B = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = I_C + I_B = (B+1) \cdot I_B$$

$$P_V = U_{CE} \cdot I_C + U_{BE} \cdot I_B \approx U_{CE} \cdot I_C$$

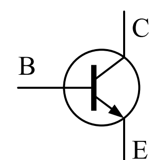
$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$$

U_B	*Betriebsspannung*	*V*
U_{BE}	*Basis-Emitter-Spannung (Basisvorspannung)*	*V*
U_{CE}	*Kollektor-Emitter-Spannung*	*V*
I_B	*Basisstrom*	*A*
I_C	*Kollektorstrom*	*A*
I_E	*Emitterstrom*	*A*
B	*Gleichstromverstärkung*	*–*
P_V	*Verlustleistung*	*W*

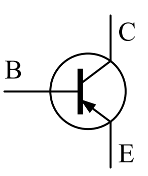


Schaltzeichen

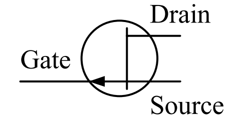
Bipolar NPN



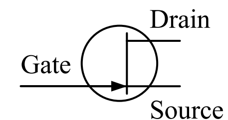
Bipolar PNP



J-FET P-Kanal
(Sperrschicht)

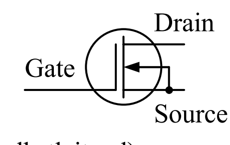


J-FET N-Kanal
(Sperrschicht)



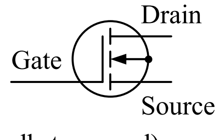
Isolierschicht-FET, IG-FET, MOS-FET

(Verarmungstyp)



(selbstleitend)

(Anreicherungstyp)



(selbstsperrend)

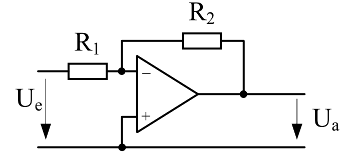
Grundschaltungen bipolarer Transistoren

Schaltungsname	**Emitterschaltung**	**Kollektorschaltung**	**Basisschaltung**
Schaltungsbeispiel			
Spannungsverstärkungsfaktor v_U	gross, z.B. 300	< 1, z.B. 0.5	gross, z.B. 100
Stromverstärkungsfaktor v_I	gross, z.B. 300	gross, z.B. 300	< 1, z.B. 0.5
Leistungsverstärkungsfaktor v_P	sehr gross, z.B. 30000	gross, z.B. 300	gross, z.B. 200
Phasenlage von $U_{e\sim}$ zu $U_{a\sim}$	entgegengesetzt	gleich	gleich
Eingangswiderstand R_{ie}	mittel, z.B. 5 kΩ	gross, z.B. 50 kΩ	klein, z.B. 50 Ω
Ausgangswiderstand R_{ia}	gross, z.B. 10 kΩ	klein, z.B. 100 Ω	gross, z.B. 10 kΩ
Anwendungsbeispiel	NF-Verstärker	NF-Eingangsverstärker	HF-Verstärker

Operationsverstärker

Invertierende

$$v = \frac{R_2}{R_1} = -\frac{U_a}{U_e}$$

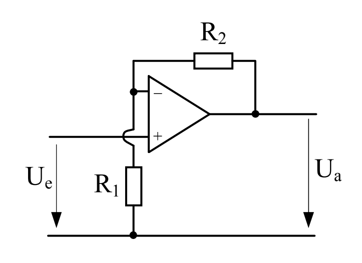


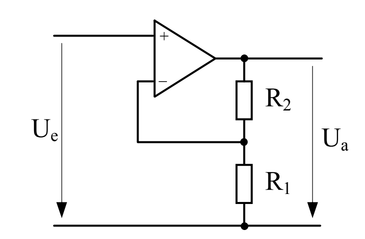
v	*Verstärkungsfaktor*	–
U_a	*Ausgangsspannung*	*V*
U_e	*Eingangsspannung*	*V*
R	*Widerstand*	*Ω*

Nicht-Invertierende

$$v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

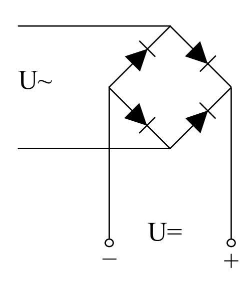
$$U_a = U_e \cdot v$$





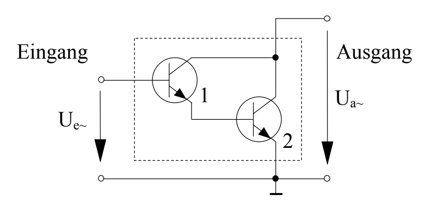
Graetz-Schaltung

(Zweipuls-Brückenschaltung)



Darlington-Schaltung

$$B_{total} = B_1 \cdot B_2$$



B	*Gleichstromverstärkung*	–

Elektronenröhren

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \qquad R = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

$$D = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} = \frac{1}{\mu} \qquad \mu = \frac{1}{D}$$

$$P_V = U_a \cdot I_a$$

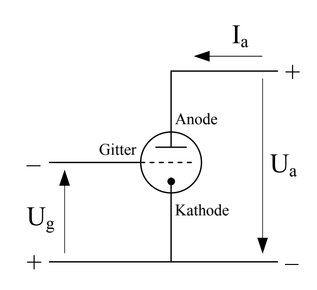
S	*Steilheit*	*A/V*
ΔI_a	*Anodenstromänderung*	*A*
ΔU_g	*Gittervorspannungsänderung*	*V*
R	*Innenwiderstand*	*Ω*
ΔU_a	*Anodenspannungsänderung*	*V*
D	*Durchgriff*	–
μ	*Verstärkungsfaktor*	–
P_V	*Verlustleistung*	*W*
U_a	*Anodenspannung (Betrieb-)*	*V*
I_a	*Anodenstrom*	*A*

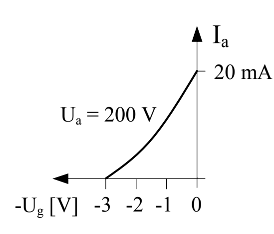
Barkhausensche Röhrenformel

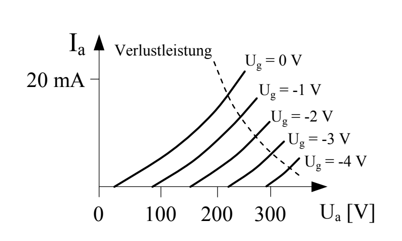
$$S \cdot R \cdot D = 1$$

Bedingung: S: U_a = const R: U_g = const D: I_a = const

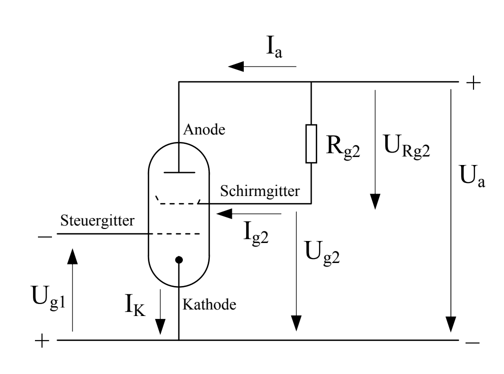
Triode

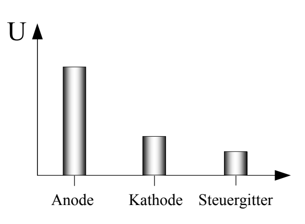






Tetrode



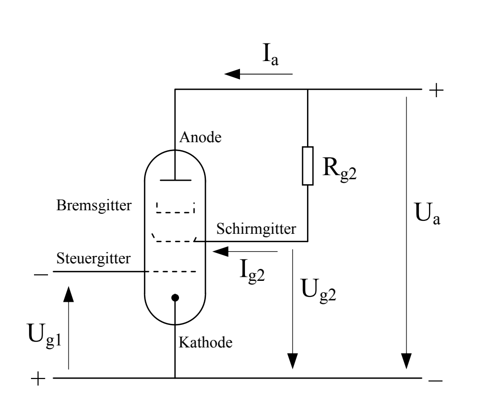


$$R_{g2} = \frac{U_a - U_{g2}}{I_{g2}}$$

$$U_{Rg2} = U_a - U_{g2}$$

$$I_K = I_a + I_{g2}$$

Pentode



Das Bremsgitter ist in der Regel mit der Kathode verbunden.

Dezibel

Leistungsverstärkung — *v: Verstärkung [dB]* — *F: Verstärkungsfaktor [ ]*

$$v = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \qquad P_2 = P_1 \cdot 10^{\frac{v}{10}} \qquad P_2 = P_1 \cdot F \qquad F = 10^{\frac{v}{10}}$$

Spannungsverstärkung — *v: Verstärkung [dB]* — *F: Verstärkungsfaktor [ ]*

$$v = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{I_2}{I_1} \qquad U_2 = U_1 \cdot 10^{\frac{v}{20}} \qquad U_2 = U_1 \cdot F \qquad F = 10^{\frac{v}{20}}$$

Leistungsdämpfung * — *a: Dämpfung [dB]* — *F: Verstärkungsfaktor [ ]*

$$a = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \qquad P_2 = P_1 \cdot 10^{-\frac{a}{10}} \qquad P_2 = P_1 \cdot F \qquad F = 10^{-\frac{a}{10}}$$

Spannungsdämpfung * — *a: Dämpfung [dB]* — *F: Verstärkungsfaktor [ ]*

$$a = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} = 20 \cdot \log \frac{I_1}{I_2} \qquad U_2 = U_1 \cdot 10^{-\frac{a}{20}} \qquad U_2 = U_1 \cdot F \qquad F = 10^{-\frac{a}{20}}$$

* Achtung: negative Exponenten!

Antennengewinn

dBd – Antennengewinn bezüglich λ/2-Dipol

$$G = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{max}}{U_{Dipol}}\right)$$

Das i in dBi steht für isotrop (isotroper Kugelstrahler)
Das d in dBd steht für Dipol
Das c in dBc steht für Carrier (bezüglich dem Träger)
ERP: Effective Radiated Power (bezüglich Dipol)
EIRP: Effective Isotropic Radiated Power (bezüglich isotropem Kugelstrahler)

dBi – Antennengewinn bezüglich Kugelstrahler

Ein Dipol hat gegenüber einem Kugelstrahler bereits 2.15 dB Gewinn.

$$G_{bez.Kugelstrahler} = G_{bez.Dipol} + 2.15 \qquad P_{EIRP} = 1.64 \cdot P_{ERP}$$

Absolute Pegel

Absolute Leistungspegel

$$a_{dBm} = 10 \cdot \log \frac{P}{P_{ref}} \qquad P = P_{ref} \cdot 10^{\frac{a_{dBm}}{10}}$$

Bezugswert: 0 dBm = 1 mW (oft an 50 Ω)

a_{dBm}	*absoluter Leistungspegel*	*dBm*
P	*Leistung*	*W*
P_{ref}	*Bezugsleistungspegel 1 mW*	*W*

Absoluter Spannungspegel

$$a_{dB\mu V} = 20 \cdot \log \frac{U}{U_{ref}} \qquad U = U_{ref} \cdot 10^{\frac{a_{dB\mu V}}{20}}$$

Bezugswert: 0 dBµV = 1 µV (oft an 50 Ω)

$a_{dB\mu V}$	*absoluter Spannungspegel*	*dBµV*
U	*Spannung*	*V*
U_{ref}	*Bezugsspannungspegel 1 µV*	*V*

Absoluter Feldstärkepegel

$$a_{dB(\mu V/m)} = 20 \cdot \log \frac{E}{E_{ref}} \qquad E = E_{ref} \cdot 10^{\frac{a_{dB(\mu V/m)}}{20}}$$

Bezugswert: 0 dB(µV/m) = 1 µV/m

$a_{dB(\mu V/m)}$	*absolute Feldstärkepegel*	*dB(µV/m)*
E	*Feldstärke*	*V/m*
E_{ref}	*Bezugsfeldstärkepegel 1 µV/m*	*V/m*

Modulation

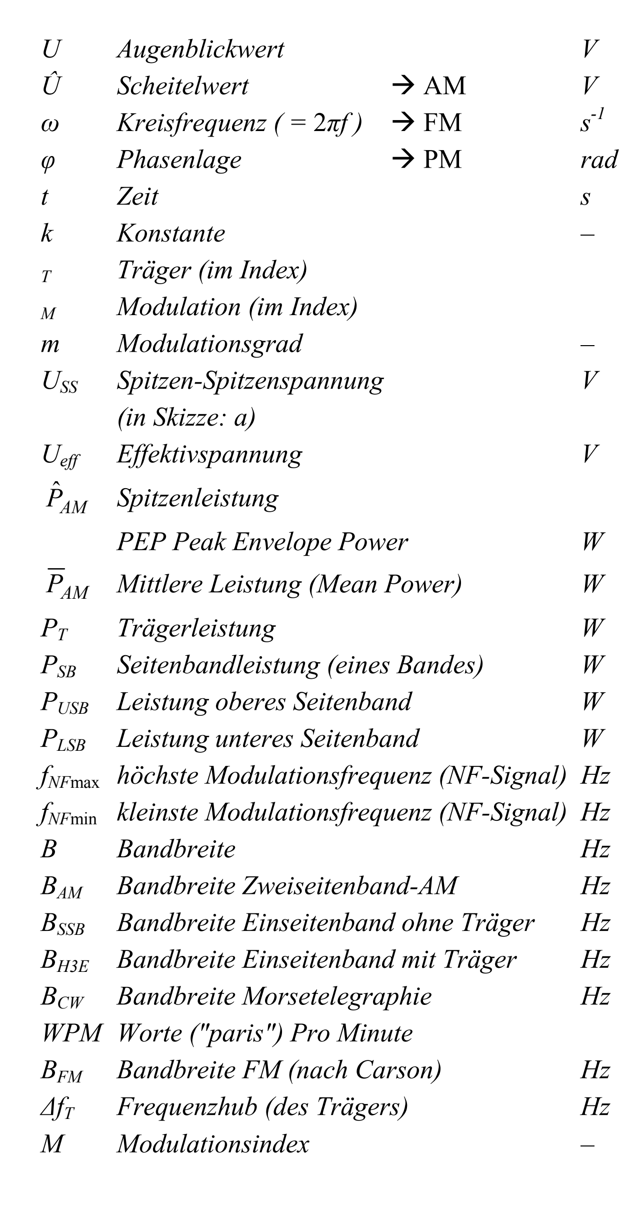
$$U_M(t) = \hat{U}_M \cdot \sin(\omega_M \cdot t \pm \varphi_M)$$

$$U_T(t) = \hat{U}_T \cdot \sin(\omega_T \cdot t \pm \varphi_T)$$

$$U_{AM}(t) = \underbrace{k \cdot U_M(t)}_{\text{AM}} \cdot \sin(\omega_T \cdot t \pm \varphi_T)$$

$$U_{FM}(t) = \hat{U}_T \cdot \sin(\underbrace{k \cdot U_M(t)}_{\text{FM}} \cdot t \pm \varphi_T)$$

$$U_{PM}(t) = \hat{U}_T \cdot \sin(\omega_T \cdot t \pm \underbrace{k \cdot U_M(t)}_{\text{PM}})$$



U	*Augenblickwert*		V
$\hat{U}$	*Scheitelwert*	→ AM	V
ω	*Kreisfrequenz (= $2\pi f$)*	→ FM	s^{-1}
φ	*Phasenlage*	→ PM	*rad*
t	*Zeit*		s
k	*Konstante*		–
$_T$	*Träger (im Index)*		
$_M$	*Modulation (im Index)*		
m	*Modulationsgrad*		–
U_{SS}	*Spitzen-Spitzenspannung (in Skizze: a)*		V
U_{eff}	*Effektivspannung*		V
$\hat{P}_{AM}$	*Spitzenleistung PEP Peak Envelope Power*		W
$\overline{P}_{AM}$	*Mittlere Leistung (Mean Power)*		W
P_T	*Trägerleistung*		W
P_{SB}	*Seitenbandleistung (eines Bandes)*		W
P_{USB}	*Leistung oberes Seitenband*		W
P_{LSB}	*Leistung unteres Seitenband*		W
$f_{NF\max}$	*höchste Modulationsfrequenz (NF-Signal)*		Hz
$f_{NF\min}$	*kleinste Modulationsfrequenz (NF-Signal)*		Hz
B	*Bandbreite*		Hz
B_{AM}	*Bandbreite Zweiseitenband-AM*		Hz
B_{SSB}	*Bandbreite Einseitenband ohne Träger*		Hz
B_{H3E}	*Bandbreite Einseitenband mit Träger*		Hz
B_{CW}	*Bandbreite Morsetelegraphie*		Hz
WPM	*Worte ("paris") Pro Minute*		
B_{FM}	*Bandbreite FM (nach Carson)*		Hz
Δf_T	*Frequenzhub (des Trägers)*		Hz
M	*Modulationsindex*		–

AM Amplitudenmodulation

$$m = \frac{\hat{U}_M}{\hat{U}_T} = \frac{\hat{U}_{NF}}{\hat{U}_{HF}} \cdot (100\%) \qquad 0 \le m \le 1$$

$$m = \frac{a-b}{a+b}$$

$$U_{SB} = U_{LSB} = U_{USB} = \frac{m}{2} \cdot U_T$$

$$\hat{P}_{AM} = \frac{U_{eff}^{\ 2}}{R} = \frac{U_{SS}^{\ 2}}{8 \cdot R} = (1+m)^2 \cdot P_T$$

$$\overline{P}_{AM} = P_T + 2 \cdot P_{SB} = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \cdot P_T$$

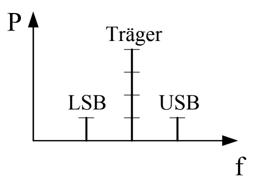
$$P_{SB} = P_{USB} = P_{LSB}$$

$$P_{SB} = \frac{P_{AM} - P_T}{2} = \frac{1}{4} \cdot m^2 \cdot P_T = \frac{1}{2 + \frac{4}{m^2}} \cdot \overline{P}_{AM}$$

$$\overline{P}_{SB} = \frac{U_{SB}^{\ 2}}{R} = \frac{1}{6} \cdot \overline{P}_{AM} \qquad \text{bei m = 1}$$

$$P_{NF} = 2 \cdot (P_{LSB} + P_{USB}) = 2 \cdot P_{SB}$$

$$B_{AM} = 2 \cdot f_{NF\max}$$



SSB Einseitenband-AM

$$B_{SSB} = f_{NF\max} - f_{NF\min} \qquad B_{H3E} = f_{NF\max}$$

CW

$$B_{CW} \approx \frac{WPM \cdot 5}{1.2}$$

FM Frequenzmodulation

$$B_{FM} = 2 \cdot (\Delta f_T + f_{NF\max}) = 2 \cdot (M+1) \cdot f_{NF\max}$$

$$M = \frac{\Delta f_T}{f_{NF\max}} = \frac{B_{FM}}{2 \cdot f_{NF\max}} - 1$$

Spiegelfrequenz

$f_{sp} > f_o$:

$f_{sp} = f_o + f_{ZF} = f_e + 2 \cdot f_{ZF}$

$f_{sp} < f_o$:

$f_{sp} = f_o - f_{ZF} = f_e - 2 \cdot f_{ZF}$

f_{sp}	*Spiegelfrequenz*	*Hz*
f_o	*Oszillatorfrequenz*	*Hz*
f_e	*Eingangsfrequenz*	*Hz*
f_{ZF}	*Zwischenfrequenz = const.*	*Hz*

Intermodulationsprodukte

2. Ordnung $\quad f_1 \pm f_2$

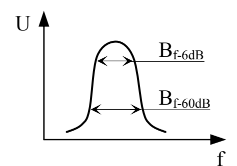
3. Ordnung $\quad 2 \cdot f_2 \pm f_1$ und $2 \cdot f_1 \pm f_2$

f_1	*Frequenz Sender 1*	*Hz*
f_2	*Frequenz Sender 2*	*Hz*

besonders störend, wenn f_1 und f_2 innerhalb Nutzfrequenzbereich: $2f_2 - f_1$ und $2f_1 - f_2$

Trennschärfe

$$Formfaktor \;\; F = \frac{B_{f-60dB}}{B_{f-6dB}}$$



Feldstärke

im Fernfeld: $r > 4\lambda ... 10\lambda$:

$$E = \frac{U}{d}$$

für gleichstark empfangene Sender:

$$\frac{P_1}{d_1^2} = \frac{P_2}{d_2^2} \qquad \frac{U_1}{U_2} = \frac{d_2}{d_1} \qquad \frac{U_1^2}{P_1} = \frac{U_2^2}{P_2}$$

E	*Feldstärke*	*V/m*
U	*Empfangsspannung*	*V*
d	*Distanz*	*m*
P	*Senderleistung*	*W*

Wellenlänge

$$c = f \cdot \lambda \qquad f = \frac{c}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{c}{f}$$

$$\frac{c}{l \cdot \lambda}$$

[f] = MHz , [λ] = m : $\quad f = \frac{300}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{300}{f}$

$$l_m = \frac{k_V \cdot c}{2 \cdot f} \qquad k_V = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

c	*Geschwindigkeit*	*m/s*
	Licht im Vakuum: 299'792'458	*m/s*
f	*Frequenz*	*Hz*
λ	*Wellenlänge*	*m*
l_m	*mech. Länge des λ/2-Dipols*	*m*
k_V	*Verkürzungsfaktor*	–
	typischer Verkürzungsfaktor = 0.97	
ε_r	*relative Dielektrizitätszahl (Luft = 1)*	

Wellenwiderstand

$$Z_L = Z_W = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Z_L	*Wellenwiderstand / Wellenimpedanz*	*Ω*
L	*Kabelinduktivität*	*H*
C	*Kabelkapazität*	*F*

HF-Anpassung (reflexionsfrei)

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

Z_1 N_1 N_2 Z_2

ü	*Übersetzungsverhältnis*	*–*
N	*Windungszahl*	*–*
Z	*Impedanz*	*Ω*
1	*Primärseite*	
2	*Sekundärseite*	

Stehwellen

$$SWR = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_V + U_R}{U_V - U_R} = \frac{\sqrt{P_V} + \sqrt{P_R}}{\sqrt{P_V} - \sqrt{P_R}} = \sqrt{\frac{1+\rho}{1-\rho}}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{P_R}{P_V}} = \left(\frac{SWR-1}{SWR+1}\right)^2 \cdot 100\%$$

$$SWR = \frac{R_a}{Z} \quad \text{für } R_a \geq Z$$

$$SWR = \frac{Z}{R_a} \quad \text{für } R_a \leq Z$$

SWR	***Standing Wave Ratio*** ***Stehwellenverhältnis***	
U_{max}	*max. Spannung auf Leitung*	*V*
U_{min}	*min. Spannung auf Leitung*	*V*
U_V	*hinlaufende Spannung*	*V*
U_R	*rücklaufende Spannung*	*V*
P_V	*hinlaufende Leistung*	*W*
P_R	*rücklaufende Leistung*	*W*
ρ	*Reflexionsfaktor*	

SWR = 2 → 11 %   SWR = 3 → 25 %

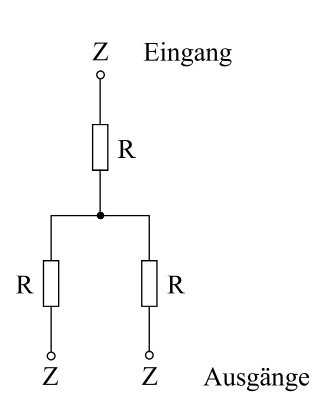
R_a	*Antennen- / Abschlusswiderstand*	*Ω*
Z	*Wellenwiderstand Zuleitung*	*Ω*

HF-Verteiler

$$R = Z \cdot \frac{n-1}{n+1}$$

$$U_A = \frac{U_E}{n}$$

$$a = 20 \cdot \log n$$



Bedingung: impedanzrichtige Verteilung. Symmetrische Schaltung (alle Anschlüsse/Tore sind gleich)

R	*Entkopplungswiderstand*	*Ω*
Z	*Impedanz*	*Ω*
n	*Anzahl Ausgänge (n Ausgänge + 1 Eingang = Anzahl Anschlüsse/Tore)*	
U_A	*Ausgangsspannung*	*V*
U_E	*Eingang*	*V*
a	*Dämpfung*	*dB*

Rauschen

$$P_R = 4 \cdot k \cdot T \cdot B$$

$$U_N = 2 \cdot \sqrt{k \cdot T \cdot B \cdot R}$$

$$F = \frac{SNR_{Eingang}}{SNR_{Ausgang}}$$

$$NF = SNR_{Eingang} - SNR_{Ausgang}$$

$$NF = 10 \cdot \log(F) \qquad F = 10^{\frac{NF}{10}}$$

$$SNR = 20 \cdot \log\frac{U_S}{U_N} = 10 \cdot \log\frac{P_S}{P_N}$$

$$SINAD = 20 \cdot \log\left(\frac{U_S + U_N + U_D}{U_N + U_D}\right)$$

P_S	*Signalleistung*	*W*
P_R	*Rauschleistung*	*W*
k	*Boltzmann-Konstante* $1.380658 \cdot 10^{-23}$	*J/K*
T	*Temperatur*	*K*
U_S	*Signalspannung*	*V*
U_N	*Rauschspannung*	*V*
U_D	*Verzerrungsspannung*	*V*
R	*Widerstand, welcher rauscht*	*Ω*
F	*Rauschfaktor, Rauschzahl*	–
NF	*Noise Figure (Rauschzahl)*	*dB*
B	*Bandbreite*	*Hz*
SNR	*Signal-Rausch-Abstand*	*dB*
$SINAD$	*Signal, Noise and Distortion*	*dB*

Klirrfaktor und Übersprechen

$$d = \frac{\sqrt{U_2{}^2 + U_3{}^2 + \ldots}}{\sqrt{U_1{}^2 + U_2{}^2 + \ldots}}$$

$$a_d = 10 \cdot \log\frac{1}{d}$$

$$a_{ct(2\to1)} = 20 \cdot \log\frac{U_{Nutz(Kanal1)}}{U_{Stör(Kanal2)}}$$

d	Klirrfaktor	–
U_1	Grundschwingung	V
$U_{2\ldots}$	Oberschwingungen	V
a_d	Klirrdämpfungsmass	dB
$a_{ct(2\to1)}$	Übersprechdämpfungsmass	dB

S-Meter – Wertvorzeichen

S-Stufe	KW	UKW
S9+60dB	50 mV	5 mV
S9+40dB	5 mV	500 µV
S9+20dB	500 µV	50 µV
S9	**50 µV**	**5 µV**
S8	25 µV	2.5 µV
S7	12.5 µV	1.25 µV
S6	6.25 µV	0.63 µV
S5	3.13 µV	0.31 µV
S4	1.56 µV	0.16 µV
S3	0.78 µV	0.08 µV
S2	0.39 µV	0.04 µV
S1	0.19 µV	0.02 µV

Zehnerpotenz	Abkürzung	Bezeichnung
10^{15}	P	Peta
10^{12}	T	Tera
10^{9}	G	Giga
10^{6}	M	Mega
10^{4}	Ma	Myria
10^{3}	k	Kilo
10^{2}	h	Hekto
10^{1}	da	Deka
10^{-1}	d	Dezi
10^{-2}	c	Zenti
10^{-3}	m	Milli
10^{-6}	µ	Mikro
10^{-9}	n	Nano
10^{-12}	p	Pico
10^{-15}	f	Femto
10^{-18}	a	Atto

Inhaltsverzeichnis

Geordnet nach Seitenzahl

Alphabetisch geordnet